

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift
⑩ DE 195 40 675 C 1

⑤① Int. Cl.®:
F 02 D 41/00
G 01 P 3/481
G 01 M 15/00

②① Aktenzeichen: 195 40 675.3-31
②② Anmeldetag: 31. 10. 95
④③ Offenlegungstag: —
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 30. 4. 97

DE 195 40 675 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
Angermaier, Anton, 84172 Buch, DE; Henn, Michael,
74842 Billigheim, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 44 07 167 A1
DE 42 27 104 A1

⑤④ Verfahren zur Momentenschätzung mittels Drehzahlauswertung an der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine

⑤⑦ Schätzung des Drehmomentes auf Basis eines physikalisch-mathematischen Modells aus der mittels Inkrementalgebern gemessenen Kurbelwellengeschwindigkeit. Aus der Messung der Zahnzeiten, anschließender Zahnfehlerkorrektur und einer vom Arbeitspunkt abhängigen Filterung wird das auf die Kurbelwelle wirkende Gasmoment gewonnen. Es bildet ein Zwischenprodukt, das z. B. für die Verbrennungsaussetzererkennung oder für eine Verbrennungsregelung, wie eine Abgasrückführregelung weiterverarbeitet werden kann. Aus dem geschätzten Verlauf des Gasmomentes werden charakteristische Kenngrößen für den Verbrennungsvorgang in einem Zylinder gewonnen und durch Differenzbildung zwischen den zylinderindividuellen und einem gemittelten Wert erhält man ein Residuum, das bei Überschreiten eines Schwellwertes das Vorhandensein eines Verbrennungsaussetzers anzeigt.

DE 195 40 675 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Momentenschätzung mittels Drehzahlauswertung an der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine gemäß Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Zur Erfassung der Stellung einer Welle, beispielsweise der Kurbelwelle oder der Nockenwelle einer Brennkraftmaschine ist es bekannt, auf dieser Welle eine Geberscheibe oder ein Geberrad mit Markierungen, z. B. Zähnen vorzusehen, die mittels eines feststehenden Aufnehmers abgetastet werden. Dabei werden in dem Aufnehmer, beispielsweise einem induktiven Aufnehmer von den vorbei laufenden Markierungen Spannungsimpulse induziert und in einer nachfolgenden Auswerterschaltung wird aus den zeitlichen Abständen dieser Spannungsimpulse die Drehzahl oder die Winkelgeschwindigkeit der Welle ermittelt.

Die Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle oder einer mit ihr verbundenen Welle einer Brennkraftmaschine kann beispielsweise zur Detektion von Verbrennungsaussetzern herangezogen werden. Verbrennungsaussetzer einzelner oder mehrerer Zylinder führen zu einer Verlangsamung der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle. Da der Meßeffect, insbesondere bei höheren Drehzahlen sehr gering ist — der Drehzahlverlust bei einem Verbrennungsaussetzer kann im Extremfall nur 0,2% betragen, muß die Winkelgeschwindigkeit sehr genau gemessen werden. Toleranzen und Exemplarstreuungen bei der Fertigung bzw. bei der Anbringung des Geberrades auf der Kurbelwelle führen zu Ungenauigkeiten bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit und damit zu Fehldetektionen bei der Verbrennungsaussetzererkennung.

Die Kenntnis des von nach dem Hubkolbenprinzip arbeitenden Brennkraftmaschinen bei der Verbrennung erzeugten Drehmomentes kann neben der zuverlässigen Detektion von Verbrennungsaussetzern auch zur Verwirklichung eines verbrennungsoptimalen Regelungskonzeptes, zum Beispiel für die Abgasrückführregelung herangezogen werden.

In Fehrenbach, H., "Berechnung des Brennraumdruckverlaufes aus der Kurbelwellen-Winkelgeschwindigkeit von Verbrennungsmotoren", VDI-Verlag, 1991 ist ein physikalisches Modell hoher Genauigkeit für die Bestimmung des Gasmomentes aus der Kurbelwellendrehzahl an einem Einzylindermotor beschrieben.

In der Momentenbilanz wird insbesondere für das Reibungsmoment ein komplexer Ansatz mit einer großen Anzahl von Parametern verwendet. Die Parameter werden zuvor bestimmt und nicht im Betrieb identifiziert oder adaptiert. Meßtechnisch wird dabei die Drehzahl mit einem FIR-Tiefpaß hoher Ordnung geglättet und daraus die Winkelbeschleunigung mit einem FIR-Differenzierer berechnet. Die Verifizierung erfolgte am Motorprüfstand. In Henn, M.; Kiencke, U., "Estimation of In-Cylinder-Pressure Torque from Angular Speed by Kalman Filtering, IFAC Workshop "Advances in Automotive Control", Ascona, März 1995 wird zur Berechnung des Gasmomentes ein winkeldiskreter Kalmanfilteransatz, basierend auf der Drehmomentbilanz an einem Ein-Massenschwinger, verwendet. Mit den Gleichungen des Kalmanfilters können gleichzeitig das Massenmoment und die zuvor geschätzten Zahnfehler korrigiert werden. Die Fluktuationen des Gas- und Lastmomentes werden dabei mit einem autoregressiven Ansatz modelliert.

Aus der DE 42 27 104 A1 ist ein Verfahren und ein System zum Aufspüren von Fehlzündungen bei Brennkraftmaschinen unter Ausnutzung von Drehmomentungleichförmigkeiten der Maschine bekannt. Dieses Verfahren umfaßt das Messen der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle, um eine elektrische Signaldarstellung dieser zu erhalten und das Filtern des elektrischen Signals, um die Wirkungen von Zufallsfehlern und Störungen des elektrischen Signals zu minimieren, um daraus ein gefiltertes Winkelgeschwindigkeitssignal zu erhalten. Anschließend wird ein M-dimensionaler Drehmomentungleichförmigkeitsvektor berechnet, welcher von dem gefilterten Winkelgeschwindigkeitssignal abgeleitet ist. Wenigstens ein Referenzwert des Drehmomentes, basierend auf den Drehmomentungleichförmigkeitsvektor wird berechnet. Das indizierte Drehmoment, welches durch wenigstens einen Zylinder während eines gegebenen Motorzyklus erbracht wird, wird aufgrund der Kurbelwellengeschwindigkeit geschätzt. Schließlich wird der wenigstens eine Referenzwert mit dem indizierten Drehmoment verglichen, um ein Fehlzündungssignal zu erhalten.

In der DE 44 07 167 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung des durch Gaskräfte auf die Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine übertragenen Drehmoments beschrieben. Hierzu wird die Drehzahlinformation ausgewertet, welche über die Ermittlung von Umlaufzeiten eines mit der Kurbelwelle fest verbundenen Bauteils erfaßt wird. Aus der mit der Drehzahl korrelierten Winkelgeschwindigkeit wird mit Hilfe des Trägheitsmoments des Motors das Rotationsmoment berechnet. Zusätzlich zum Rotationsmoment des Motors werden auch die Momente der oszillierenden Massen, die Torsionsmomente der Kurbelwelle und die sich aus allen langsam veränderlichen Reib-, Nutz- und Lastmomenten resultierenden statischen Momente ermittelt und aus einer Bilanz dieser einzelnen Drehmomente das aus den Gaskräften resultierende Drehmoment bestimmt. Aus diesem Drehmoment wird anschließend die von den einzelnen Zylindern pro Arbeitstakt abgegebene Arbeit ermittelt. Die so ermittelten Betriebsparameter können zur Motorsteuerung und/oder zur On-Board-Diagnose verwendet werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, Verfahren anzugeben, mit denen es ermöglicht wird, das von einer Brennkraftmaschine bei der Verbrennung erzeugte Drehmoment über eine Drehzahlauswertung an der Kurbelwelle mit hoher Genauigkeit zu bestimmen, wobei auch störende Rückwirkungen von der Straße oder von der Eigendynamik des Antriebsstranges berücksichtigt werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche 1 bis 3 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Durch Schätzung des Drehmomentes auf Basis eines physikalisch-mathematischen Modells aus der mittels Inkrementalgebern gemessenen Kurbelwellengeschwindigkeit ergibt sich eine relativ einfache und kostengünstige Möglichkeit, das Drehmoment einer Brennkraftmaschine zu bestimmen. Voraussetzung hierfür ist eine Messung der Zahnzeiten, aus denen nach einer Zahnfehlerkorrektur und einer vom Arbeitspunkt der Brennkraftmaschine abhängigen Filterung das auf die Kurbelwelle wirkende Drehmoment gewonnen wird.

Die Schätzung des Gasmomentes bildet ein Zwischenprodukt, das auch für andere Zwecke, das neben der Verbrennungsaussetzererkennung auch für eine Verbrennungsregelung wie etwa der Regelung der Abgasrückführmenge weiterverarbeitet werden kann. Aus dem geschätzten Verlauf des Gasmomentes werden charakteristische Kenngrößen für den Verbrennungsvorgang in einem Zylinder gewonnen. Durch Differenzbildung zwischen den zylinderindividuellen und einem gemittelten Wert erhält man ein Residuum, das bei Überschreiten eines Schwellwertes das Vorhandensein eines Verbrennungsaussetzers anzeigt. 5

Das Verfahren wird im folgenden anhand der Zeichnungsfiguren näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Meßprinzips für die Winkelgeschwindigkeit,

Fig. 2 den gemessenen Periodendauerverlauf (Zahnzeitenverlauf) bei hoher Last und einem einzelnen Aussetzer, 10

Fig. 3 den Verlauf des geschätzten Summenmomentes,

Fig. 4 eine Darstellung zur Interpolation bei der Bestimmung des Lastmomentes

Fig. 5 verschiedene Kenngrößen (Merkmale) für die Bestimmung des Gasmomentes

Fig. 6 eine Darstellung zum Vergleich der Residuen beim Höhenverfahren und beim Segmentverfahren zur Aussetzererkennung und 15

Fig. 7 ein Diagramm, das die Änderung des Schwellwertes bei einer rauen Straßenoberfläche zeigt.

In Fig. 1 ist mit dem Bezugszeichen 1 ein ferromagnetische Zähne aufweisendes Geberzahnrad mit Winkelinkrementen der Breite $\Delta\varphi$ bezeichnet, das auf einer Kurbelwelle 2 montiert ist. Von einem magnetischen Aufnehmer 3, z. B. einem Hall-Sensor oder einem induktiven Sensor wird während der Drehbewegung der Kurbelwelle 2 ein Spannungssignal erzeugt, das mit dem Abstand der Zahnradstirnfläche schwankt. Das Zahnrad bildet somit den Modulator zur Umformung der amplitudenanalogen Eingangsgröße Winkelgeschwindigkeit in ein frequenzanaloges Signal. Die Nulldurchgänge dieses Signals enthalten ebenfalls die Information über den momentanen Winkel. Durch die Abfolge der Zahnücken und der ferromagnetischen Zähne des Geberzahnrad 1 ändert sich das Magnetfeld, das von einem Permanentmagneten im Sensor 3 stammt. 20

Ein Zahnrad mit Z Zähnen und Radius R wird üblicherweise durch sein Modul 25

$$m = \frac{2R}{Z}$$

gekennzeichnet. Für eine ausreichend starke Magnetfeldänderung zur Signalgewinnung sind bei den magnetischen Sensoren nur Module innerhalb gewisser Grenzen zulässig. Das bedeutet bei vorgegebenem Radius R eine Beschränkung der maximalen Anzahl Z der Zähne und damit der maximalen Winkelauflösung. Ein Winkelinkrement ist gleich 35

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{Z}$$

Aus dem vom Sensor 3 gelieferten Signal erzeugt ein Diskriminator 4, der z. B. aus einem Schmitt-Trigger und einem Flankendetektor bestehen kann, ein Rechtecksignal, das durch den Abstand zwischen zwei Flanken $T(n)$ (Periodendauer) gekennzeichnet ist. Die Quantisierung dieses Signals erfolgt mit Hilfe eines Zählers 5 und einer Referenzfrequenz 6. Der so erhaltene Zählerstand ist mit 45

$$ZS = \frac{\Delta\varphi}{T(n)}$$

ein Maß für die Winkelgeschwindigkeit ω . Durch Aussparen von einem oder mehreren Zähnen auf dem Geberzahnrad 1 erhält man einen Bereich 7 für eine Winkelreferenz, mit deren Hilfe der Absolutwinkel bestimmt werden kann. Als Standard bei Impulsgebern auf der Kurbelwelle von Brennkraftmaschinen haben sich 60 Zähne minus einer Lücke von 2 Zähnen durchgesetzt. 55

Unter der Annahme einer starren Kurbelwelle gilt folgende Massenbilanz an der Kurbelwelle

$$\Theta \cdot \dot{\omega} = M_{\text{gas}} - M_{\text{mass}} - M_{\text{last}} \quad (1)$$

Dabei ist mit Θ die Massenträgheit der Kurbelwelle, $\dot{\omega}$ die Winkelbeschleunigung, M_{gas} das von den sich ändernden Zylinderdrücken verursachte Gasmoment, oft auch als Druckmoment bezeichnet, M_{mass} das von den schillierenden Massen von Kolben und Pleuel verursachte Massenmoment und M_{last} das von der Straße rückwirkende Lastmoment. 65

In das Massenmoment M_{mass} geht eine winkelabhängige, periodische Funktion $f(\varphi)$ ein, die die Form bestimmt und die momentane Winkelgeschwindigkeit ω , welche die Amplitud bestimmt:

$$M_{\text{mass}} = f(\varphi)\omega^2 \quad (2)$$

$f(\varphi)$ ist durch die Konstruktionsdaten der Brennkraftmaschine festgelegt. Das Massenmoment M_{mass} enthält keine Informationen über den Betriebszustand der Brennkraftmaschine, d. h. keine Information, ob eine Verbrennung stattgefunden hat oder nicht und ist in diesem Fall eine Störung, während das Gasmoment M_{gas} eine Aussage über den Verbrennungsvorgang erlaubt.

Die gesuchte Größe der Detektion von Verbrennungsaussetzern und der Schätzung des Drehmoments der Brennkraftmaschine bildet also das Gasmoment M_{gas} .

Die Gleichung (1) spiegelt den Zusammenhang zwischen der gemessenen Winkelgeschwindigkeit ω und dem Gasmoment M_{gas} wider. Störungen sind das Massenmoment M_{mass} und das Lastmoment M_{last} . Hinzu kommen die Meßfehler bei der Drehzahlbestimmung durch Zahnradungenauigkeiten wie Fertigungstoleranzen und exzentrische Lagerung des Geberrades auf der Welle und durch die Quantisierung bei der Auszählung der Zahnzeiten mit dem Referenztakt. Außerdem werden die hochdynamischen Drehzahlsignale über einen Zahn oder über ein Segment gemittelt, wodurch eine Verfälschung des vom Aufnehmer abgegriffenen Nutzsignales eintritt.

Im folgenden wird der Algorithmus zur Schätzung des Momentenverlaufs erläutert. Ausgangspunkt dabei ist die Gleichung (1) für die Momentensumme der verschiedenen Drehmomente auf der Kurbelwelle. Diese Gleichung kann umgeformt werden zu:

$$\omega^2_2 - \omega^2_1 = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} 2(M_{\text{gas}} - M_{\text{mass}} - M_{\text{last}})d\varphi \quad (3)$$

Aus der Gleichung (3) ist ersichtlich, daß die Differenz der quadrierten Winkelgeschwindigkeit an zwei Winkelstellungen bis auf einen Proportionalitätsfaktor die über das Intervall $\varphi_2 - \varphi_1$ gemittelte Momentensumme ergibt. Sie kann durch

$$\omega^2_2 - \omega^2_1 \approx \frac{T(n) - T(n-1)}{\bar{T}^3} \quad (4)$$

approximiert werden. Mit \bar{T} ist dabei eine gemittelte Zahnzeit bezeichnet, die beispielsweise über eine Umdrehung berechnet wird, d. h. als die Zeit bis wieder der selbe Zahn des Geberzahnrades am Sensor vorbeistreicht. Bei Z Zähnen bzw. Segmenten ergibt sich diese Zeit zu

$$\bar{T} = \frac{1}{Z} \sum_{n=\frac{Z}{2}}^{n+\frac{Z}{2}-1} T(n). \quad (4a)$$

Um eine möglichst genaue Momentenschätzung zu erhalten, müssen die bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit durch Toleranzen am Geberrad auftretenden Störungen wie Fertigungstoleranzen und Exemplarstreuungen und unzentrische Lagerung des Geberrades auf der Kurbelwelle, sowie der Einfluß des Massenmomentes M_{mass} berücksichtigt werden.

Adaptionsverfahren, bei dem diese Einflüsse bei der Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit einer Welle in Betracht gezogen werden können, sind beispielsweise in der zeitgleichen deutschen Patentanmeldung P 195 40 674 der selben Anmelderin beschrieben. Dort wird ein Korrekturfaktor für jeden einzelnen Zahn oder für jedes Segment ermittelt.

Wird nämlich das Geberzahnrad beim Aufbringen auf die Kurbelwelle nicht genau zentrisch justiert, kommt es zur Überlagerung von Schwankungen mit der Periode einer Umdrehung in der gemessenen Geschwindigkeit. Der Sensor mißt die Tangentialgeschwindigkeit, mit der die Zähne des Geberzahnrades vorbeistreichen und nicht die Winkelgeschwindigkeit.

Eine weitere Fehlerquelle des Geberzahnades bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit, die bei dem genannten Verfahren berücksichtigt wird, stellen Fertigungstoleranzen der Zähne des Geberrades dar. Die Winkelteilung des Zahnades ist dadurch nicht exakt und die tatsächliche Schrittweite eines Winkelinkrementes ist nicht konstant. Dieser Winkelfehler wiederholt sich nach einer Umdrehung.

Die Fluktuationen in der Winkelgeschwindigkeit werden durch Momentenschwankungen, d. h. durch die auf die Kurbelwelle einwirkenden Momente und die Fehler bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit verursacht und alle in einer Kleinsignalnäherung auf Schwankungen in der gemessenen Zeitdauer $T(n)$ (Zahnzeiten) zwischen zwei Zähnen bzw. Segmenten umgerechnet. Auch wird dabei der stochastische Quantisierungsfehler durch die begrenzte Auflösung des Referenztaktes für den Zähler mit berücksichtigt. Dieses Verfahren liefert einen Korrekturfaktor für jeden einzelnen Zahn oder Segment, mit dessen Hilfe die Zahnzeiten $T(n)$ korrigiert und weiterverarbeitet werden können, beispielsweise zur Detektion von Verbrennungsaussetzern.

Die auf diese Weise korrigierten Zahnzeiten $T_{\text{kor}}(n)$ anstelle der gemessenen Zahnzeiten $T(n)$ enthalten aber immer noch einen mit zunehmender Drehzahl der Brennkraftmaschine stark ansteigenden Fehler. Deshalb wird eine an sich bekannte

Tiefpaßfilterung durchgeführt, wodurch diese Störungen unterdrückt werden können:

$$T_{\text{fil}}(n) = \sum_{i=-L}^L h(i) T_{\text{kor}}(n-i) \quad (5)$$

mit $T_{\text{fil}}(n)$: gefilterte Zahnzeiten
 $h(i)$: Filterkonstanten
 L : Filterlänge.

Ein Mittelwertfilter, bei dem alle Filterkonstanten $h(i)$ konstant sind, läßt sich für Zahnzeiten besonders einfach realisieren, indem einfach die Zeit zwischen mehreren Zähnen verwendet wird, d. h. die Segmentlänge größer gewählt wird.

Da die Differenzbildung das Rauschen der Drehzahl erheblich verstärkt, wäre eine Mittelung über ein großes Segment, d. h. über viele Zähne des Geberrades wünschenswert. Andererseits wird dadurch die Dynamik des Nutzsignals verschlechtert. Besonders bei niedrigen Drehzahlen sind dann Lastmomentschwankungen von Schwankungen des Lastmomentes schwierig zu unterscheiden. Um immer nur den kleinstmöglichen Fehler zu machen, ist es sinnvoll, die Filter- oder die Segmentlänge in Abhängigkeit des Betriebspunktes über die Last und der Drehzahl der Brennkraftmaschine zu verändern. Zur Unterscheidung zwischen Gasmoment und Lastmoment wird eine möglichst feine Abtastung der Drehzahl ohne große Filterung mit einem kleinen Integrationsintervall benötigt. Dadurch erfahren die Momente die geringste Verfälschung durch die digitale Verarbeitung. Der Quantisierungsfehler erfordert aufgrund seines höherfrequenten Charakters eine möglichst starke Tiefpaßfilterung, was z. B. durch breite Abtastschritte oder eine entsprechende Filterfunktion erzielt werden kann.

In Fig. 2 ist der gemessene Periodendauerverlauf, also die noch nicht korrigierten Werte für die Zahnzeiten $T(n)$ bei einer Drehzahl von 1250 Upm und einer Zählfrequenz von 8 Mhz bei einem einzelnen Aussetzer und dem dadurch ausgelösten Nachschwingvorgang aufgetragen. Der Abstand zwischen 2 ganzen Zahlen auf der Abszisse entspricht dabei jeweils einem Arbeitsspiel.

Fig. 3 zeigt die korrigierten und nach Gleichung (4) verarbeiteten Zahnzeiten aus der Fig. 2. Die Segmentlänge beträgt dabei 5 Zähne. Auf der Ordinate ist das geschätzte Summenmoment $\hat{M}_{\text{gas}} - \hat{M}_{\text{last}}$, normiert auf das Trägheitsmoment Θ aufgetragen. Nach der Verarbeitung der korrigierten und gefilterten Drehzahlen entsprechend den Gleichungen (4) und (5) sind die Lastschwankungen immer noch im Signal enthalten (Fig. 3).

Das Gasmoment weist an Winkelstellungen im Bereich von $10^\circ - 40^\circ$ vor dem Oberen Totpunkt geringe Änderungen auf, da sich der Vorgängerzylinder gerade in der Ausstoßphase befindet und im aktuellen Zylinder die Verbrennung noch keine wesentliche Drucküberhöhung gebracht hat. Die Schwankungen des Drehmomentes in diesen Punkten kann also dem Lastmoment zugeschrieben werden. Durch eine lineare Interpolation erhält man den Lastmomentverlauf zwischen diesen Stützstellen. In Fig. 4 ist dieser Verlauf dargestellt.

Zieht man das interpolierte Lastmoment von den nach Gleichung (4) aufbereiteten Drehzahlfluktuationen ab, bleibt der Verlauf des geschätzten Gasmomentes \hat{M}_{gas} übrig. Aus dem geschätzten Verlauf des Gasmomentes \hat{M}_{gas} können verschiedene Merkmale, die den Verbrennungsprozeß kennzeichnen, erzeugt werden. In Fig. 5 sind drei verschiedene Kenngrößen, auch als Merkmale $y_H(k)$, $y_F(k)$ und $y_V(k)$ bezeichnet, dargestellt.

Die maximale Höhe des Gasmomentes $y_H(k)$ ist ein mögliches aussagekräftiges Merkmal. Die Berechnung ist einfach, da nur das Maximum des geschätzten Gasmomentes $\hat{M}_{\text{gas}}(n)$ in einem Zylindersegment $(k-1)L \leq n \leq kL$ gefunden werden muß:

$$y_H(k) = \max(\hat{M}_{\text{gas}}(n)) \quad (k-1)L \leq n < kL$$

L ist die Anzahl der berechneten Werte für das Gasmoment $\hat{M}_{\text{gas}}(n)$ innerhalb eines Zylindersegmentes, k ist ein Laufindex für das Zylindersegment.

Ein anderes Merkmal stellt die Fläche $y_F(k)$ unter der Gesamtmomentenkurve in einem Zylindersegment dar:

$$y_F(k) = \sum_{n=(k-1)L}^{kL-1} \hat{M}_{\text{gas}}(n)$$

Eine dritte Möglichkeit berücksichtigt nur die Werte der Momentenfolge, die innerhalb des Verbrennungsintervalls liegen:

$$y_V(k) = \sum_{n=n_1}^{n_2} \hat{M}_{\text{gas}}(n)$$

$$(k-1)L \leq n_1 < n_2 < kL$$

Das Intervall von 10° bis 80° nach dem Oberen Totpunkt korreliert gut mit dem mittleren induzierten Druck.

Um Einbrüche des Gasmomentes für einen Zylinder erkennen zu können ist der Vergleich mit einem Minimalwert notwendig. Als Residuum, also der Vergleich zwischen Nominalwert und tatsächlichen Wert, wird für alle drei Kenngrößen bzw. Merkmale $y_H(k)$, $y_F(k)$ und $y_V(k)$ die Differenz zu einem Mittelwert herangezogen:

$$r_i = y_i(k) - \bar{y}_i(k)$$

mit $i = H, F, V$ und r_i als Residuum.

Der Mittelwert $\bar{y}_i(k)$ kann durch eine beliebige Filterung, beispielsweise durch IIR(Infinite Impulse Response)-oder FIR(Finite Impulse Response)-Tiefpaßfilterung oder mit einem Medianfilter berechnet werden. Das Medianfilter bietet den Vorteil, daß die Einbrüche bei Aussetzern in die Mittelung nicht eingehen, solange sie weniger häufig als die normalen Verbrennungen im Mittelungsintervall auftreten.

Die Ergebnisse des Algorithmus mit dem Höhenverfahren im Vergleich zu einem konventionellen Segmentverfahren zeigt die Fig. 6. Das Residuum r_H für das Höhenverfahren mit einer gemittelten Drehzahl über 5 Zähne ist in Fig. 6 oben zu sehen. Man erkennt deutlich, daß das Nachschwingen des Antriebsstrangs nach einem Verbrennungsaussetzer durch das Höhenverfahren unterdrückt wird, so daß der Aussetzer sicher erkannt werden kann. Bei einem konventionellen Verfahren auf der Basis der Zylindersegmentzeiten (z. B. bei 4 Zylinder 180°) nach Fig. 6 unten kann das Nachschwingen nicht genügend unterdrückt werden und beim Festlegen einer Schwelle, die den Aussetzer noch erkennen läßt, können Fehldetektionen ausgelöst werden.

Aus den berechneten Residuen, die die Informationen über die Verbrennungsaussetzer nur verrauscht enthalten, muß entschieden werden, ob ein Aussetzer vorliegt oder nicht. Mit Hilfe des Neyman-Pearson-Kriteriums, eines Verfahrens aus der stochastischen Detektionstheorie, läßt sich eine Methode zur Berechnung einer Schwelle $\bar{\eta}$ herleiten, bei deren Überschreiten auf einen Verbrennungsaussetzer entschieden wird:

$$\bar{\eta} = \sqrt{\sigma^2_{e1} - \sigma^2_{e2}} Q^{-1}(P_F).$$

Mit $Q^{-1}(P_F)$ ist dabei ein Proportionalitätsfaktor bezeichnet, der die Abhängigkeit der Schwelle von der vorgegebenen Fehlerwahrscheinlichkeit angibt. σ^2_{e1} ist die vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine wie Last, Drehzahl und Temperatur abhängige natürliche Varianz der Residuen, die den statistischen Charakter der Verbrennung kennzeichnet. Sie kann aus stationären Messungen an einem Prüfstand bestimmt und z. B. in einem Kennfeld gespeichert werden. Die durch die Rückwirkung von einer rauen Straßenoberfläche herrührenden stochastischen Schwankungen werden durch die zweite Varianz σ^2_{e2} gekennzeichnet. Sie kann on-line durch die Varianz der bei der Interpolation des Lastmoments verwendeten Stützstellen bestimmt. Damit kann bei extrem rauer Straßenoberfläche die fälschliche Erkennung von Verbrennungsaussetzern sicher vermieden werden.

Fig. 7 zeigt, wie die betriebspunktabhängige Schwelle durch den Korrekturterm mit σ^2_{e2} bei Auftreten starker Störungen durch die Fahrbahn (washboard) angehoben wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Momentenschätzung mittels Drehzahlauswertung an der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine mit einem Geberrad und einem dem Geberrad zugeordneten Aufnehmer zur Erfassung der Kurbelwellengeschwindigkeit durch Auswerten von Zahnzeiten ($T(n)$), bei dem

- die gemessenen Zahnzeiten ($T(n)$) einer, Störeinflüsse bei der Erfassung der Kurbelwellengeschwindigkeit (ω) berücksichtigenden Korrektur und einer anschließenden, betriebspunktabhängigen Filterung unterworfen werden,
- daraus der Verlauf des auf der Kurbelwelle angreifenden, die Informationen über den Verbrennungsvorgang beinhaltenden Gasmomentes (M_{gas}) geschätzt wird,
- aus dem geschätzten Verlauf (\hat{M}_{gas}) des Gasmomentes (M_{gas}) charakteristische Kenngrößen ($y_H(k)$, $y_F(k)$, $y_V(k)$) für den Verbrennungsprozeß abgeleitet werden,

dadurch gekennzeichnet, daß

als Kenngröße die maximale Höhe $y_H(k) = \max(\hat{M}_{gas}(n))$ des geschätzten Gasmomentes ($\hat{M}_{gas}(n)$) in einem Zylindersegment $((k-1)L \leq n < kL)$ herangezogen wird mit:

L als die Anzahl der berechneten Werte für das Gasmoment $\hat{M}_{gas}(n)$ innerhalb eines Zylindersegmentes, k Laufvariable.

2. Verfahren zur Momentenschätzung mittels Drehzahlauswertung an der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine mit einem Geberrad und einem dem Geberrad zugeordneten Aufnehmer zur Erfassung der Kurbelwellengeschwindigkeit durch Auswerten von Zahnzeiten ($T(n)$), bei dem

- die gemessenen Zahnzeiten ($T(n)$) einer, Störeinflüsse bei der Erfassung der Kurbelwellengeschwindigkeit (ω) berücksichtigenden Korrektur und einer anschließenden, betriebspunktabhängigen Filterung unterworfen werden,
- daraus der Verlauf des auf der Kurbelwelle angreifenden, die Informationen über den Verbrennungsvorgang beinhaltenden Gasmomentes (M_{gas}) geschätzt wird,
- aus dem geschätzten Verlauf (\hat{M}_{gas}) des Gasmomentes (M_{gas}) charakteristische Kenngrößen ($y_H(k)$,

$y_F(k)$, $y_V(k)$) für den Verbrennungsprozeß abgeleitet werden, dadurch gekennzeichnet, daß als Kenngröße die Fläche $y_F(k)$ unter der Gesamtmomentenkurve des geschätzten Gasmomentes ($\hat{M}_{gas}(n)$) herangezogen wird:

$$y_F(k) = \sum_{n=(k-1)L}^{kL-1} \hat{M}_{gas}(n)$$

3. Verfahren zur Momentenschätzung mittels Drehzahlauswertung an der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine mit einem Geberrad und einem dem Geberrad zugeordneten Aufnehmer zur Erfassung der Kurbelwellengeschwindigkeit durch Auswerten von Zahnzeiten ($T(n)$), bei dem

— die gemessenen Zahnzeiten ($T(n)$) einer, Störeinflüsse bei der Erfassung der Kurbelwellengeschwindigkeit (ω) berücksichtigenden Korrektur und einer anschließenden, betriebspunktabhängigen Filterung unterworfen werden,

— daraus der Verlauf des auf der Kurbelwelle angreifenden, die Informationen über den Verbrennungsvorgang beinhaltenden Gasmomentes (M_{gas}) geschätzt wird,

— aus dem geschätzten Verlauf (\hat{M}_{gas}) des Gasmomentes (M_{gas}) charakteristische Kenngrößen ($y_H(k)$, $y_F(k)$, $y_V(k)$) für den Verbrennungsprozeß abgeleitet werden, dadurch gekennzeichnet, daß als Kenngröße nur die Werte der Momentenfolge des geschätzten Gasmomentes ($\hat{M}_{gas}(n)$) herangezogen werden, die innerhalb eines Verbrennungsintervalls (n_1, n_2) liegen:

$$y_V(k) = \sum_{n=n_1}^{n_2} \hat{M}_{gas}(n)$$

$$(k-1)L \leq n_1 < n_2 < kL$$

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß Residuen (r_i) durch Differenzbildung zwischen den Kenngrößen ($y_H(k)$, $y_F(k)$, $y_V(k)$) und einem Mittelwert ($\bar{y}_i(k)$) berechnet und mit einem Schwellenwert (η) verglichen werden und bei Überschreiten des Schwellenwertes (η) auf einen Verbrennungsaussetzer erkannt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert (η) abhängig von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine und der Rückwirkung der Straßenoberfläche gewählt ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Berechnung des Schwellenwertes (η) zusätzlich ein Faktor $Q^{-1}(P_F)$ berücksichtigt wird, der die Abhängigkeit des Schwellenwertes von der Fehlerwahrscheinlichkeit angibt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß die korrigierten Zahnzeiten ($T_{kor}(n)$) einer Tiefpaßfilterung unterworfen werden nach der Beziehung

$$T_{fil}(n) = \sum_{i=-L}^L h(i) T_{kor}(n-i)$$

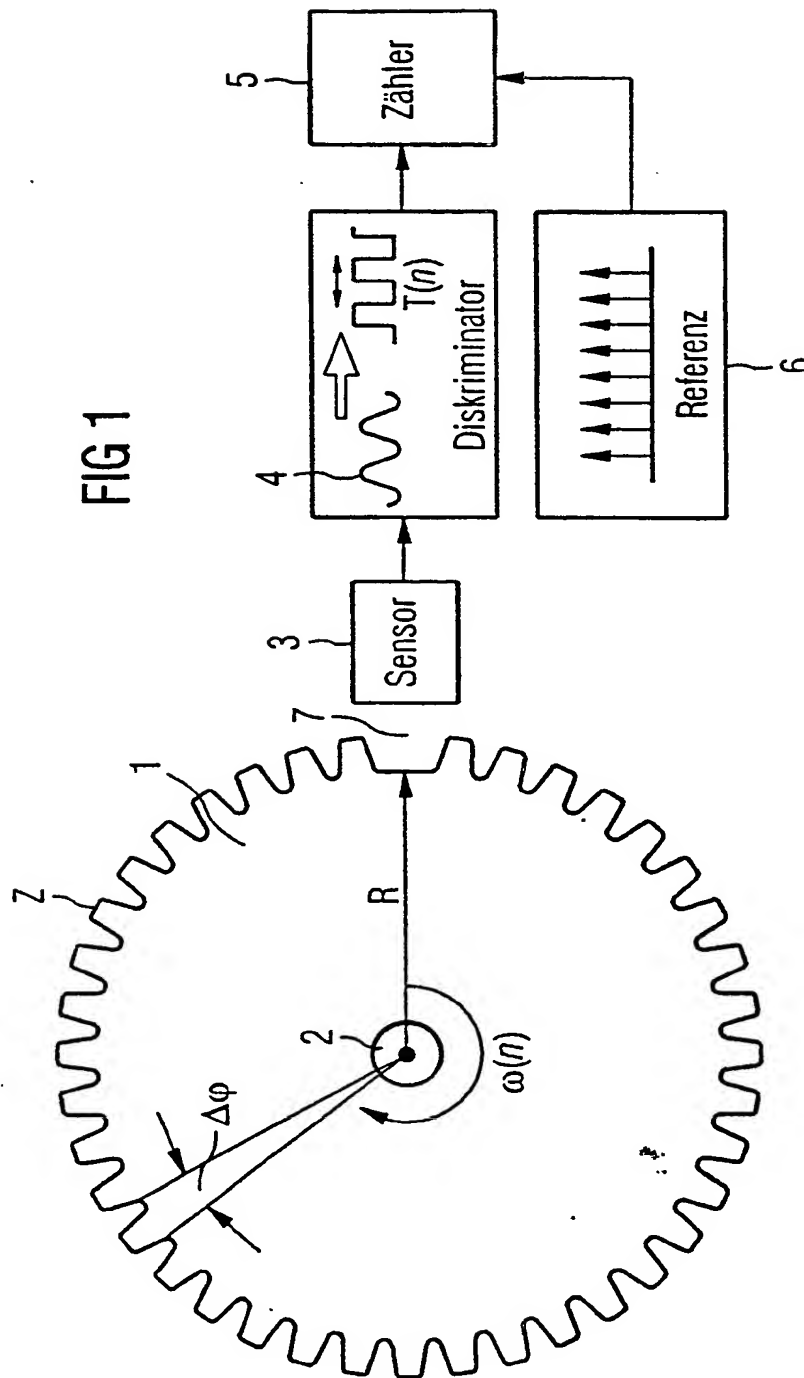
mit: L = Filterlänge

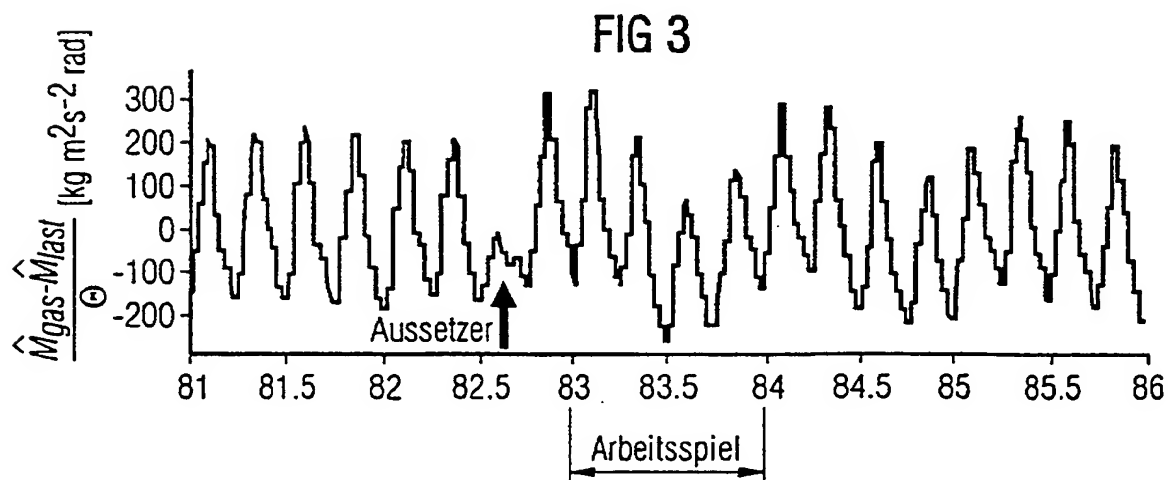
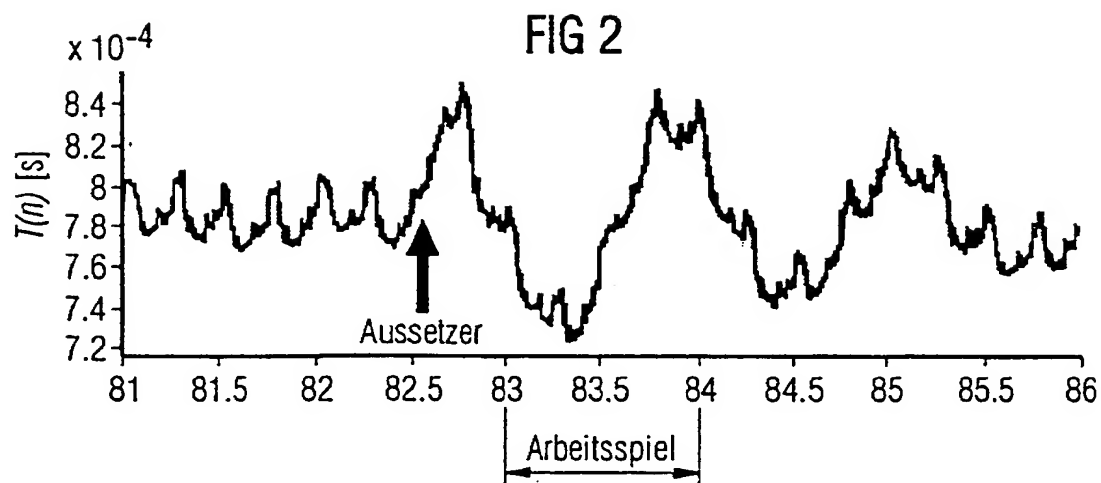
$h(i)$ = Filterkoeffizient.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Filterlänge (L) abhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine gewählt ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





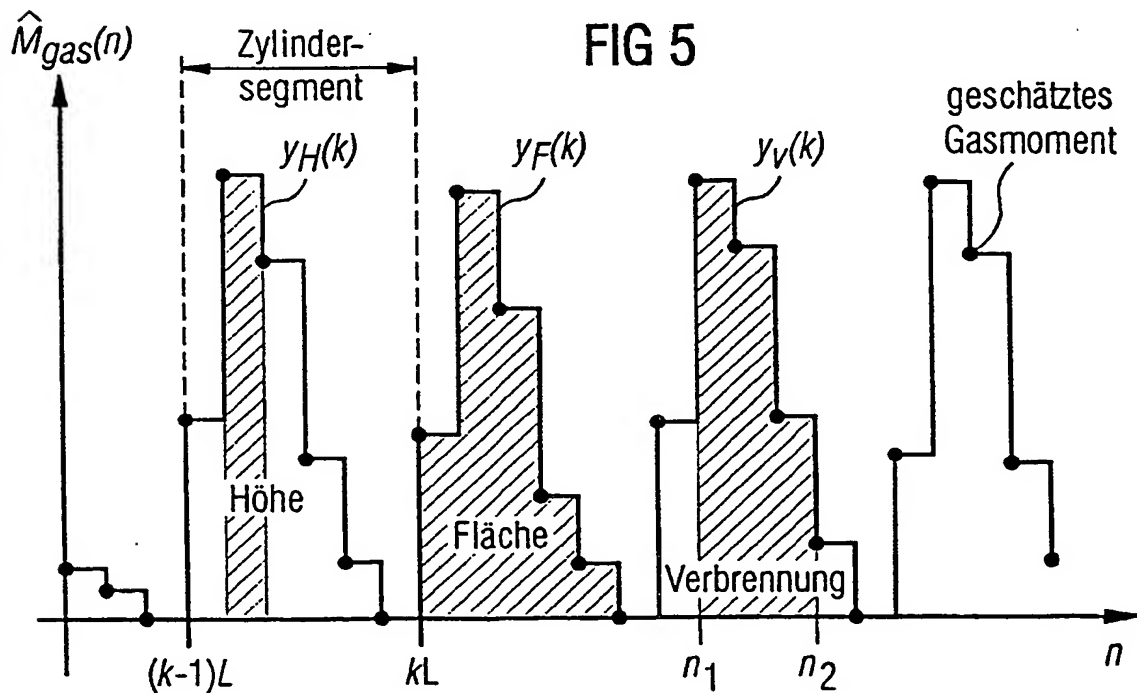
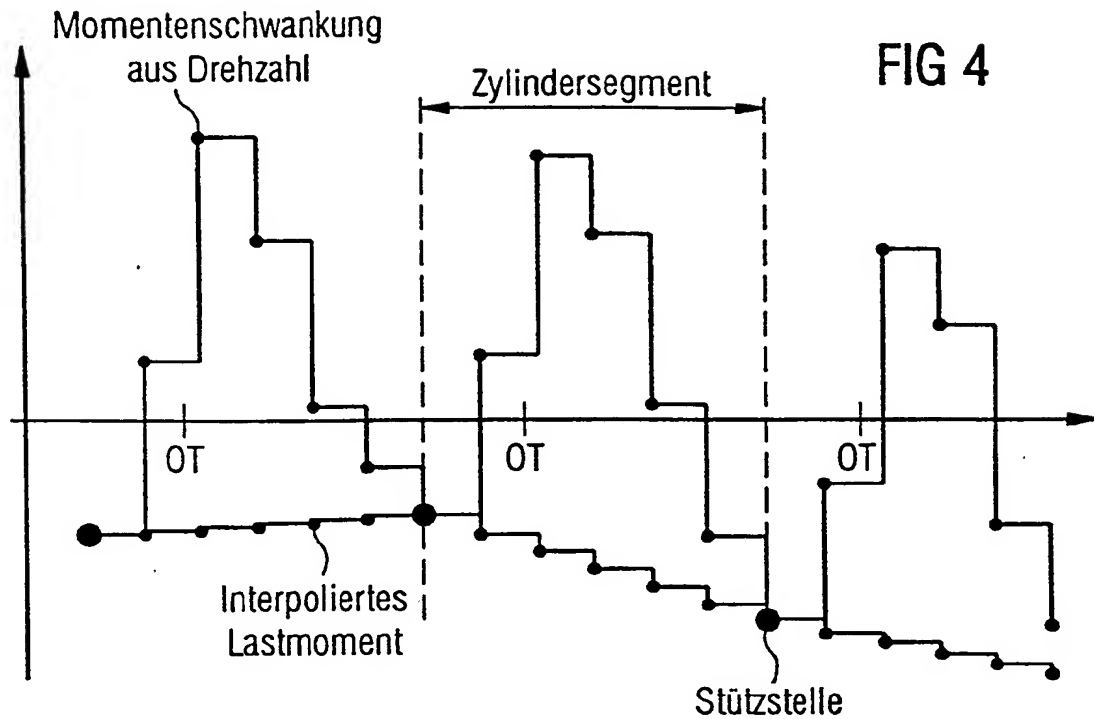


FIG 6

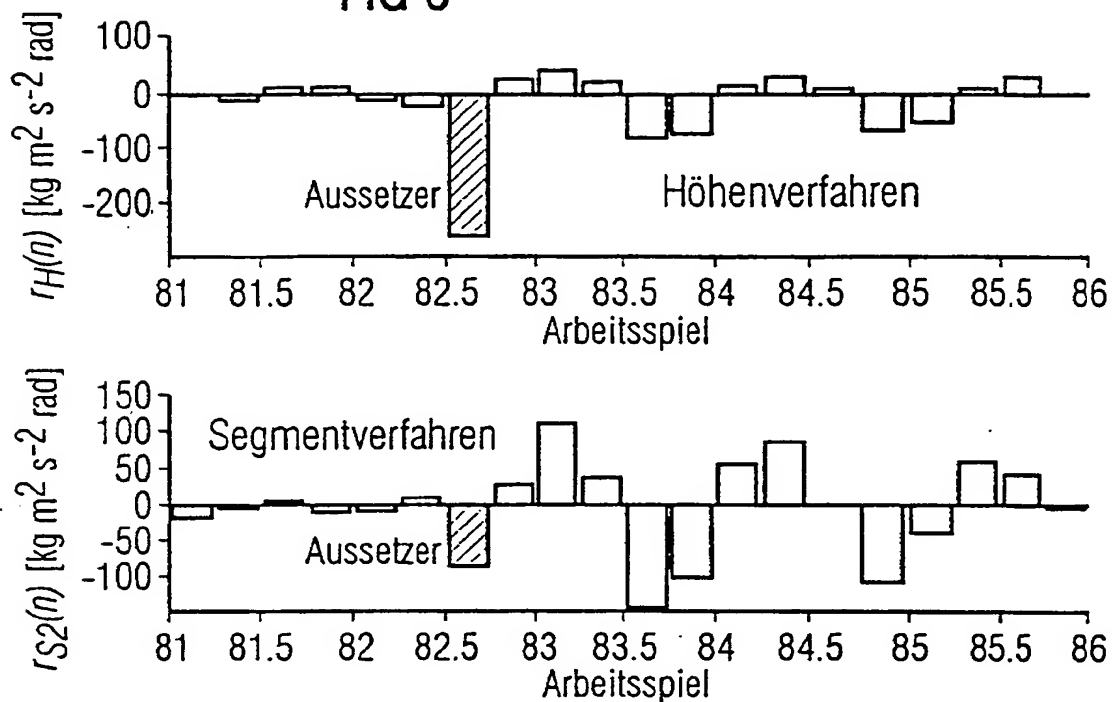


FIG 7

